低蛋白质饲粮中苏氨酸水平苏氨酸对离乳前期梅花鹿仔鹿生长性能和营养物质表观消化率的影响[1]

李仁德　王晓旭　张铁涛　张　婷　王　静　张雪蕾　李光玉　王凯英*

（中国农业科学院特产研究所，特种经济动物分子生物学国家重点实验室，长春 130112)

摘　要：本试验旨在研究低蛋白质饲粮中苏氨酸水平对离乳前期梅花鹿仔鹿生长性能和营养物质表观消化率的影响。选择 24 只健康无病的 3 月龄雄性梅花鹿，随机分为 4 组，每组 6 只。4 组仔鹿限量饲喂 4 种不同的饲粮，各组饲粮赖氨酸、蛋氨酸水平均分别为 0.87%、0.28%。其中，高蛋白质饲粮对照组（Ⅰ组）仔鹿饲喂蛋白质水平为 16%的高蛋白质饲粮，低蛋白质饲粮试验组（Ⅱ～Ⅳ组）仔鹿饲喂蛋白质水平为 14%并添加不同水平苏氨酸的低蛋白质饲粮，各组饲粮中苏氨酸水平分别为 0.54%（Ⅰ组）、0.46%（Ⅱ组）、0.59%（Ⅲ组）、0.72%（Ⅳ组）。预试期为 15 d，正试期为 30 d。结果表明：1）高蛋白质饲粮对照组的平均日增重（ADG）极显著高于Ⅱ组（*P*＜0.01），与Ⅲ、Ⅳ组差异不显著(*P*＞0.05)；高蛋白质饲粮对照组的料重比（F/G）极显著高于Ⅲ、Ⅳ组（*P*＜0.01），极显著低于Ⅱ组（*P*＜0.01）。2）高蛋白质饲粮对照组的粗蛋白质表观消化率极显著低于Ⅲ和Ⅳ组（*P*<0.01），极显著高于Ⅱ组（*P*<0.01）；高蛋白质饲粮对照组能量表观消化率极显著低于Ⅲ、Ⅳ组（*P*<0.01），与Ⅱ组无显著差异(*P*＞0.05)；Ⅲ组钙表观消化率极显著高于Ⅱ组（*P*<0.01），与其他组差异不显著(*P*＞0.05)。3）高蛋白质饲粮对照组的组氨酸、天冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸、半胱氨酸表观消化率显著高于Ⅱ组(*P*<0.05)，与Ⅱ组其他氨基酸表观消化率无显著差异(*P*>0.05)；高蛋白质饲粮对照组赖氨酸、蛋氨酸、苏氨酸、精氨酸、丙氨酸、酪氨酸表观消化率极显著低于Ⅲ组

收稿日期：2017-05-28
基金项目：科技攻关计划(20140203018NY)；长春市“双十工程”十工程 40203；科技攻关计划（20170204041NY）
作者简介：李仁德（1991-），男，河南商丘人，硕士研究生，从事特种经济动物营养与饲养研究。E-mail: 1432846608@.qq.com
*通信作者：王凯英，副研究员，硕士生导师，E-mail: tcswky@126.com

(P＜0.01)，缬氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸、丝氨酸表观消化率显著低于Ⅲ组（P<0.05)；高蛋白质饲粮对照组除丙氨酸的表观消化率极显著低于Ⅳ组(P＜0.01)以及赖氨酸、苏氨酸、缬氨酸、丙氨酸表观消化率显著低于Ⅳ组(P＜0.05)外，其他氨基酸的表观消化率与Ⅳ组无显著差异(P>0.05)。由此得出，低蛋白质饲粮中适宜水平的苏氨酸对离乳前期梅花鹿仔鹿的生长性能和营养物质消化利用具有促进作用；当饲粮赖氨酸、蛋氨酸水平相同时，饲喂蛋白质水平为14%、苏氨酸水平为0.59%的低蛋白质饲粮的梅花鹿仔鹿的生长性能和营养物质表观消化率均优于饲喂蛋白质水平为16%的高蛋白质饲粮的梅花鹿仔鹿。

关键词：梅花鹿；苏氨酸；生长性能；低蛋白质饲粮

中图分类号：S816　文献标识码：A　文章编号：

因鹿产品强壮身体、延缓衰老的保健作用明显，梅花鹿一直是我国人工养殖的主要鹿种。但近年来为获得更多的产品，同所有畜禽养殖者一样，养鹿者常一味地提高饲粮蛋白质水平而忽视了营养平衡性，直接导致了营养物质消化利用率较低，甲烷、二氧化碳等温室气体以及恶臭气体和污水等养殖污染物排量大幅上升，不仅增加了饲养成本，还引起了环境污染。下调饲粮蛋白质水平虽可有效地降低动物粪便中的氮和排放到空气中的氨，却会直接导致动物生产性能下降[1-3]，而通过补充限制性氨基酸配制低蛋白质氨基酸平衡饲粮，不但能提高动物的生产性能，同时又可以减少对环境的污染[4-6]。相关技术在猪、鸡等畜禽上已经比较成熟，在梅花鹿上的研究很少，特别是仔鹿上，仅在蛋氨酸（Met）、赖氨酸（Lys）上进行了一些研究[1-3]，而直接影响幼龄动物营养物质消化率、免疫力和生长性能的苏氨酸（Thr）的研究还属于空白，亟待研究和探索。本试验通过在低蛋白质饲粮中添加苏氨酸，研究其对离乳前期梅花鹿仔鹿生长性能和营养物质消化利用的影响，筛选出饲粮苏氨酸适宜水平，为梅花鹿氨基酸营养研究提供数据支持。

1.　材料与方法

1.1　试验动物与试验设计

选取 24 只、3 月龄健康无病离乳雄性梅花鹿，平均体重为（21.44±3.00） kg，体尺指标差异不显著（P>0.05），随机分为 4 组，每组 6 只。4 组仔鹿限量饲喂 4 种不同的饲粮。其中，高蛋白质饲粮对照组（I组）仔鹿饲喂蛋白质水平为 16%的高蛋白质饲粮，低蛋白质饲粮试验组（Ⅱ～Ⅳ组）仔鹿饲喂蛋白质水平为 14%并添加不同水平苏氨酸的低蛋白质饲粮，各组饲粮中苏氨酸水平分别为 0.54%（Ⅰ组）、0.46%（II组）、0.59%（III组）、0.72%（IV组），试验期为 45 d。各组饲粮均补充赖氨酸、蛋氨酸，使赖氨酸、蛋氨酸水平均分别为 0.87%、0.28%，I、II、III、IV组饲粮赖氨酸与苏氨酸的比例分别为 100.0:62.5、100.0:52.6、100.0:68.3、100.0:83.0。试验期为 45 d，其中预试期为 15 d，正试期为 30 d。

1.2　试验饲粮及饲养管理

为保证各组饲粮具有相同的精粗比和对应的粗蛋白质含量，饲粮配制时采用不同的配方。将干全酒糟及其可溶物（DDGS）、玉米、豆粕、玉米胚芽粕、苜蓿草粉、羊草粉、麦麸、糖蜜、食盐、预混料等按不同比例配制成蛋白质水平为 16%的高蛋白质饲粮和蛋白质水平为 14%的不同苏氨酸水平的低蛋白质饲粮。高蛋白质饲粮配制时添加赖氨酸和蛋氨酸，不同苏氨酸水平的低蛋白质饲粮的赖氨酸和蛋氨酸水平与高蛋白质饲粮相同，苏氨酸按照试验设计添加。原料混匀后，制成直径 0.4 cm、长 1.2～1.5 cm 的全混合日粮（TMR）颗粒料。试验饲料组成及营养水平见表 1，试验饲粮氨基酸含量见表 2。试验于 2016 年 8 月 14 日至 2016 年 9 月 28 日在中国农业科学院特产研究所茸鹿试验基地进行。每日 07：30 和 15：00 分 2 次定量饲喂，自由饮水。

表 1　试验饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of experiment diets (air-dry basis)

项目	组别 Groups			
Items	I	II	III	Ⅳ
原料 Ingredients				

干全酒糟及其可溶物 DDGS	5.00	5.00	5.00	4.50
玉米 Corn	29.21	35.53	36.37	36.22
苜蓿草粉 Alfalfa meal	8.00	8.00	8.00	8.00
羊草粉 Chinese wildrye meal	25.00	25.00	25.00	25.00
麦麸 Wheat bran	4.50	4.50	4.50	4.50
豆粕 Soybean meal	15.50	9.50	9.50	9.00
玉米胚芽粕 Corn germ meal	8.00	7.50	6.50	7.50
糖蜜 Syrup	3.00	3.00	3.00	3.00
预混料 Premix[1)]	1.00	1.00	1.00	1.00
赖氨酸 Lys	0.18	0.33	0.34	0.35
蛋氨酸 Met	0.11	0.14	0.14	0.14
苏氨酸 Thr			0.15	0.29
食盐 NaCl	0.50	0.50	0.50	0.50
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels				
干物质 DM	88.40	88.33	88.34	88.36
有机物 OM	82.20	82.43	82.49	82.52
粗蛋白质 CP	16.03	14.00	14.02	14.02
总能 GE/（MJ / kg）	15.88	16.05	15.95	15.92
脂肪 EE	2.29	2.39	2.39	2.36
钙 Ca	0.73	0.71	0.71	0.71
磷 P	0.48	0.40	0.40	0.40
中性洗涤纤维 NDF	65.22	56.22	57.19	59.55

酸性洗涤纤维 ADF	30.42	23.58	25.34	24.79

[1)]每千克预混料含有 One kilogram of premix contained the following:MgO 0.076 g，$ZnSO_4 \cdot H_2O$ 0.036 g，$MnSO_4 \cdot H_2O$ 0.043 g，$FeSO_4 \cdot H_2O$ 0.053 g，$NaSeO_3$ 0.031 g，VA 2 484 IU，VD_3 496.8 IU，VE 0.828 IU，VK_3 0.23 mg，VB_1 0.092 mg，VB_2 0.69 mg，VB_{12} 0.001 38 mg，叶酸 folic acid 0.023 mg，烟酸 niacin 1.62 mg，泛酸 calcium pantothenate 1.15 mg，$CaHPO_4$ 5.17 g，$CaCO_3$ 4.57 g。

表 2　试验饲粮氨基酸含量（风干基础）

Table 2　Amino acid contents of experiment diets (air-dry basis)

项目	组别 Groups			
Items	I	II	III	Ⅳ
赖氨酸 Lys	0.87	0.87	0.87	0.87
蛋氨酸 Met	0.28	0.28	0.28	0.28
苏氨酸 Thr	0.54	0.46	0.59	0.72
天冬氨酸 Asp	1.25	1.00	0.99	0.98
丝氨酸 Ser	0.68	0.57	0.56	0.56
谷氨酸 Glu	2.44	2.07	2.05	2.02
甘氨酸 Gly	0.60	0.50	0.50	0.49
丙氨酸 Ala	0.84	0.76	0.75	0.75
半胱氨酸 Cys	0.13	0.10	0.10	0.10
缬氨酸 Val	0.61	0.53	0.52	0.52
异亮氨酸 Ile	0.53	0.44	0.44	0.43
亮氨酸 Leu	1.36	1.21	1.20	1.18
酪氨酸 Tyr	0.50	0.43	0.43	0.42
苯丙氨酸 Phe	0.72	0.60	0.60	0.59

组氨酸 His	0.35	0.30	0.30	0.29
精氨酸 Arg	0.83	0.67	0.66	0.65
脯氨酸 Pro	0.79	0.71	0.70	0.69

1.3　粪样采集与指标测定

在正试期的最后 4 d 每天连续收集粪便，每天 09:00—10:00 在每个鹿圈内定 6 个点收集新鲜粪便，每个定点采集粪样 100 g 左右，据酸不溶灰分(acid insoluble ash，AIA)法要求，尽量剔除杂质。所采的粪样于 65 ℃烘箱烘干，粉碎后过 0.425 mm 筛。粪样中的干物质（DM）、有机物（OM）、粗蛋白质（CP）、粗脂肪（EE）、中性洗涤纤维（NDF）、酸性洗涤纤维（ADF）、钙（Ca）、磷（P）含量参照《饲料分析及饲料质量检测技术（第 2 版）》[7]测定，氨基酸含量采用日立 L-8900 全自动氨基酸分析仪测定，营养物质表观消化率采用 2 mol/L AIA 法测定。参考文献[8]的计算公式计算营养物质表观消化率，计算公式如下：

营养物质表观消化率(%)=100－100×［饲粮中 AIA 含量(%)/粪样中 AIA 含量(%)］×［粪样中营养物质含量(%)/饲粮中营养物质含量(%)］。

1.4　体重及体尺指标测量

在试验第 45 天在早晨饲喂前对仔鹿进行麻醉，麻醉后使用上海英展牌电子秤(量程为 150 kg，精度为 0.01 kg)空腹称重(精确到 0.01 kg)，记录体重，计算平均日增重(ADG)；记录每天的采食量，计算平均日采食量(ADFI)与料重比(F/G)。

体尺指标：体高、体长、胸围测定方法参照《养牛生产学》[9]。

1.5　统计方法

数据采用 SAS 9.3 软件的 ANOVA 进程统计分析，采用 Duncan 氏法多重比较分析组间差异显著性，$P<0.05$ 为差异显著，$P<0.01$ 为差异极显著。

2　结果与分析

2.1　低蛋白质饲粮中苏氨酸水平对仔鹿生长性能的影响

由表 3 可知，II组除 F/G 外各项指标均最低，其末重显著低于其他组（$P<0.05$），ADG 极显著低于其他组（$P<0.01$），F/G 极显著高于其他各组（$P<0.01$）。高蛋白质饲粮对照组 ADFI 极显著低于各低蛋白质饲粮试验组（$P<0.01$），F/G 极显著低于II组且极显著高于III和IV组（$P<0.01$）。III、Ⅳ组除 ADFI 极显著高于高蛋白质饲粮对照组（$P<0.01$）及 F/G 极显著低于高蛋白质饲粮对照组（$P<0.01$）外，其他指标与高蛋白质饲粮对照组无显著差异($P>0.05$)，同时III与Ⅳ组间生长性能各指标均无显著差异($P>0.05$)。

表 3　低蛋白质饲粮中苏氨酸水平对仔鹿生长性能的影响

Table 3　Effects of theronine level in a low protein diet on growth performance of infant deer

项目	组别 Groups			
Items	I	II	III	Ⅳ
初重 IBW/kg	20.60±2.35	20.45±2.85	22.22±5.06	22.47±3.03
末重 FBW/kg	28.32±3.88^{ab}	24.76±4.19^{b}	32.03±4.70^{a}	32.21±3.25^{a}
体高 BH/cm	75.40±3.85	74.25±4.35	77.00±6.48	76.75±4.27
体长 BL/cm	117.20±5.97	115.50±5.74	120.30±5.12	117.50±2.89
胸围 BS/cm	75.40±5.41^{ab}	70.50±5.57^{b}	77.80±4.57^{ab}	81.00±7.81^{a}
平均日增重 ADG/(kg/d)	0.17±0.03^{Aa}	0.10±0.03^{Bb}	0.22±0.04^{Aa}	0.22±0.03^{Aa}
平均日采食量 ADFI/(kg/d)	1.33±0.07^{Bb}	1.44±0.14^{Aa}	1.47±0.09^{Aa}	1.49±0.12^{Aa}
料重比 F/G	7.82±1.77^{Bb}	14.41±4.53^{Aa}	6.68±1.48^{Cc}	6.77±0.89^{Cc}

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)，不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$)，相同或无字母表示差异不显著($P>0.05$)。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$), and with different capital letter superscripts mean extremely significant difference ($P<0.01$), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference ($P>0.05$). The same as below.

2.2 低蛋白质饲粮中苏氨酸水平对仔鹿营养物质表观消化率的影响

由表 4 知，低蛋白质饲粮试验组中，随着苏氨酸水平的升高，除 EE、NDF、能量外其他营养物质的表观消化率均呈先上升后下降趋势。III和IV组的 CP、能量表观消化率均极显著高于高蛋白质饲粮对照组和II组（P<0.01），III组的 Ca 表观消化率极显著高于II组（P<0.01），II组的 NDF、Ca 表观消化率显著低于其他各组（P<0.05），各组之间 EE、ADF、P 的表观消化率无显著差异（P>0.05）。高蛋白质饲粮对照组除 CP 表观消化率极显著高于II组（P<0.01）、NDF 表观消化率显著高于II组（P<0.05）外，其他营养物质的表观消化率与II组无显著差异（P>0.05），但在数值上均高于II组。

表 4　低蛋白质饲粮中苏氨酸水平对仔鹿营养物质表观消化率的影响

Table 4　Effects of theronine level in a low protein diet on nutrient apparent digestibility of infant deer　　%

项目	组别 Groups			
Items	I	II	III	IV
粗蛋白质 CP	59.87±3.70^{Bb}	55.06±7.24^{Cc}	65.54±3.36^{Aa}	63.81±5.21^{ABa}
粗脂肪 EE	59.34±5.07	59.26±3.60	57.58±5.02	58.16±5.78
中性洗涤纤维 NDF	66.29±3.65^{a}	61.57±6.32^{b}	66.19±3.16^{a}	66.33±4.39^{a}
酸性洗涤纤维 ADF	39.43±6.19	34.94±4.53	38.74±4.28	38.48±5.49
能量 Energy	58.32±4.56^{Bb}	57.34±6.42^{Bb}	67.52±4.16^{Aa}	68.45±3.12^{Aa}
钙 Ca	44.33±5.84^{ABab}	41.77±5.58^{Bb}	49.81±6.85^{Aa}	46.64±6.68^{ABab}
磷 P	64.80±2.52	59.60±4.53	66.21±5.38	64.14±5.60

2.3 低蛋白质饲粮中苏氨酸水平对仔鹿氨基酸表观消化率的影响

由表 5 可知，低蛋白质饲粮试验组中，随着苏氨酸水平的升高，各种氨基酸表观消化率均呈现先升高后下降的趋势。4 个组中II组各种氨基酸的表观消化率均最低，III组各种氨基

酸的表观消化率均最高。III组赖氨酸、蛋氨酸、苏氨酸、精氨酸（Arg）、丙氨酸（Ala）、酪氨酸（Tyr）的表观消化率极显著高于高蛋白质饲粮对照组(*P*＜0.01)，缬氨酸（Val）、亮氨酸（Leu）、苯丙氨酸（Phe）、丝氨酸（Ser）显著高于高蛋白质饲粮对照组(*P*<0.05)；III组除缬氨酸外的其他氨基酸的表观消化率均极显著高于II组(*P*＜0.01)，其缬氨酸的表观消化率显著高于II组(*P*<0.05)。IV组除丙氨酸的表观消化率极显著高于高蛋白质饲粮对照组(*P*＜0.01)以及赖氨酸、苏氨酸、缬氨酸、丙氨酸的表观消化率显著高于高蛋白质饲粮对照组(*P*＜0.05)外，其他氨基酸的表观消化率与IV组无显著差异(*P*>0.05)。高蛋白质饲粮对照组组氨酸（His）、天冬氨酸（Asp）、谷氨酸（Glu）、甘氨酸（Gly）、半胱氨酸（Cys）的表观消化率显著高于Ⅱ组(*P*<0.05)，与II组其他氨基酸的表观消化率无显著差异(*P*>0.05)。

表 5　低蛋白质饲粮中苏氨酸水平对仔鹿氨基酸表观消化率的影响

Table 5　Effects of theronine level in a low protein diet on amino acid apparent digestibility of infant deer　　　%

项目	组别 Groups			
Items	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
必需氨基酸				
赖氨酸 Lys	69.65±4.18^{Bb}	69.11±3.53^{Bb}	76.91±3.57^{Aa}	75.75±6.03^{ABa}
蛋氨酸 Met	78.07±3.05^{Bbc}	75.49±7.23^{Bc}	88.23±5.26^{Aa}	82.13±9.95^{ABb}
苏氨酸 Thr	60.34±4.96^{Bb}	58.55±4.49^{Bb}	75.19±4.84^{Aa}	74.71±5.79^{Aa}
缬氨酸 Val	60.93±4.55^{b}	59.81±8.13^{b}	65.60±5.51^{a}	65.45±6.16^{a}
异亮氨酸 Ile	60.90±4.88^{ABab}	57.81±8.90^{Bb}	64.57±5.22^{Aa}	63.39±5.85^{ABa}
亮氨酸 Leu	74.42±2.44^{ABb}	73.62±5.14^{Bb}	77.96±3.19^{Aa}	76.43±5.27^{ABab}
苯丙氨酸 Phe	70.49±3.55^{ABbc}	67.50±5.94^{Bc}	73.90±3.75^{Aa}	72.97±4.34^{Aab}
组氨酸 His	75.31±2.59^{ABa}	71.38±8.01^{Bb}	78.06±3.59^{Aa}	74.80±5.74^{ABab}

精氨酸 Arg	80.32±2.81^{Bb}	78.91±5.31^{Bb}	84.66±3.49^{Aa}	79.81±4.90^{Bb}
非必需氨基酸				
天冬氨酸 Asp	68.18±4.20^{ABa}	63.37±6.69^{Bb}	71.57±5.85^{Aa}	70.87±4.32^{Aa}
丝氨酸 Ser	70.24±4.55^{ABbc}	67.54±7.41^{Bc}	74.73±4. 35^{Aa}	72.60±4.43^{ABab}
谷氨酸 Glu	75.44±2.90^{ABa}	71.70±7.84^{Bb}	78.50±3. 22^{Aa}	76.44±6.04^{ABa}
甘氨酸 Gly	59.83±4.55^{ABa}	54.94±4.84^{Bb}	62.78±6.03^{Aa}	61.84±5.08^{Aa}
丙氨酸 Ala	65.19±3.54^{Bb}	63.40±5.77^{Bb}	70.83±4.50^{Aa}	70.13±5.83^{Aa}
胱氨酸 Cys	69.56±4.85^{Aa}	60.81±5.64^{Bb}	69.56±6.17^{Aa}	67.04±7.25^{Aa}
酪氨酸 Tyr	71.81±3.62^{Bb}	71.16±7.44^{Bb}	80.03±4.71^{Aa}	72.70±4.36^{Bb}

3 讨 论

3.1 低蛋白质饲粮中苏氨酸水平对仔鹿生长性能的影响

由表 3 可知，试验结束后各组仔鹿的 F/G、ADG、ADFI 不一致，存在极显著差异，说明低蛋白质饲粮中苏氨酸水平对仔鹿的生长性能有一定的影响，饲粮中苏氨酸水平必须维持在适宜水平才能保证仔鹿快速生长。离乳期仔鹿瘤胃发育不完善而身体处于快速发育阶段，对营养物质的消化利用更接近于单胃动物。有研究表明苏氨酸作为动物生长过程中所不可缺少的一种氨基酸，缺少可导致饲料利用率下降、动物生长迟缓等[10-12]。Scheideler[13]和 Sklan 等[14]均发现低蛋白质饲粮会使幼龄动物生长受阻，这与本试验中II组所得结果相一致。本试验中低蛋白质饲粮试验组仔鹿的生长性能随苏氨酸水平的升高呈先上升后下降的趋势，说明仔鹿在适宜苏氨酸水平范围内生长性能随苏氨酸水平的升高而升高，这与刘卫东等[15]、张常明等[16]、封伟贤[17]、张纯等[18]的研究结果相一致。Çifici 等[19]发现饲粮中蛋白质和苏氨酸水平存在互作效应，主要体现在饲料转化利用效率、体增重和采食量。张卫兵等[20]和楼灿等[21]均发现动物的采食量和营养物质的消化吸收不仅能反映消化器官结构和消化机能的变化，还能有效反映动物健康、生产性能和营养物质利用率。仔鹿在断奶后就进入快速生长发

育阶段，随着采食量的增加，消化器官也处在快速发育的阶段，消化器官的发育主要表现为瘤胃中微生物菌群、胃肠道容积和表面积的增加以及各种消化酶发育演变等。这些变化必将导致仔鹿对饲粮中的各营养物质的消化率产生影响。总之，添加适宜水平苏氨酸的低蛋白质饲粮不仅可以促进动物的生长和提高饲料转化利用率，而且还能改善动物的生长性能。

3.2 低蛋白质饲粮中苏氨酸水平对仔鹿营养物质表观消化率的影响

饲粮中适宜的蛋白质水平和平衡的氨基酸才会使动物发挥最佳的生长和生产性能[22]，蛋白质水平过高或过低都会造成饲料的浪费及影响动物的生长[14,23-24]。本试验中的高蛋白质饲粮的蛋白质水平 16%与于丽伟[25]试验得出的最佳蛋白质水平接近。将饲粮中蛋白质水平由 16%降低至 14%且不额外添加苏氨酸时，仔鹿的 CP 表观消化率最低，这与 Lee 等[3]和 Russell 等[26]的结果相一致；随着苏氨酸水平的升高，CP 表观消化率升高，苏氨酸水平过高时再次下降，下降的原因可能是苏氨酸过量时会影响其他氨基酸的消化吸收，氨基酸作为蛋白质的组成单位，直接影响到动物对蛋白质的消化吸收。本试验中III组的饲粮采用的赖氨酸与苏氨酸的比例为 100.0:68.3，这与 Wang 等[27]的研究结果相一致。肠道能够利用来自食物中的 2/3 的苏氨酸，经肠道吸收的苏氨酸最终用于合成体蛋白质[19, 28-33]。本试验中II组的各种营养物质表观消化率均最低，可能是因为苏氨酸的缺乏破坏了氨基酸平衡以及影响了瘤胃微生物的活性，最终降低了肠道对营养物质的消化水平。自然情况下氨基酸对机体的损害几乎不存在，机体会通过多种新陈代谢途径对富余氨基酸进行转化利用，但过量使用合成氨基酸也会产生负面影响。畜牧业对空气的污染主要来自于粪便和尿液中的有机物，有机物经发酵后会引发恶臭气味和温室效应等[34]。本试验中，低蛋白质饲粮试验组中，CP、Ca、ADF、P 的表观消化率虽苏氨酸水平的升高呈现先升高后下降的趋势，表明适宜水平的 Thr 可以促进饲粮中有机物的消化利用，从而减少粪便和尿液中有机物含量，达到节能减排、保护环境的作用。

3.3 低蛋白质饲粮中苏氨酸水平对仔鹿氨基酸表观消化率的影响

氨基酸对动物机体的作用是非常复杂的，动物对氨基酸的利用率也会随着氨基酸之间平衡性的增加而增加，只有保持氨基酸平衡才能达到氨基酸利用的最高效率。离乳期仔鹿生长迅速、瘤胃发育不完善，对营养物质的消化利用更接近于单胃动物。苏氨酸是幼龄动物生长过程中不可缺少的必需氨基酸，缺乏会导致动物生长发育迟缓、饲料利用率下降，甚至免疫低下。近年来，随着蛋氨酸、赖氨酸等在畜牧业的广泛应用，苏氨酸逐渐成为影响动物生产性能的主要限制性因素。目前对苏氨酸的研究主要集中在对单胃动物的营养作用，而对反刍动物氨基酸表观消化率影响的研究较少，这可能与反刍动物的瘤胃内种类繁多的微生物有关。唐茂妍等[35]发现，在相同的赖氨酸水平下，生长猪的 ADG 在一定范围内随饲粮苏氨酸水平的升高而增高，反之则下降，以及周彦文[36]发现随着饲粮苏氨酸水平的升高，合浦鹅对蛋氨酸和赖氨酸的代谢率是先升高后下降的，与本试验结果相一致。本试验中高蛋白质饲粮对照组的各氨基酸表观消化率低于III组，可能是因为本试验中高蛋白质饲粮的苏氨酸水平较低，破坏了氨基酸之间的平衡；也可能是因为III组添加的苏氨酸为游离氨基酸，能够被瘤胃壁及瘤胃微生物直接消化利用，从而提高了对苏氨酸的消化吸收能力。因此，进一步深入研究苏氨酸对仔鹿的氨基酸营养作用十分重要。

4　结　论

本研究结果表明，蛋白质水平为 14%的低蛋白质饲粮补充适宜水平的苏氨酸可有效提高梅花鹿仔鹿的 CP、NDF、多种氨基酸等营养物质的表观消化率，获得比蛋白质水平为 16%的高蛋白质饲粮相近或更好的生长性能，在减少资源浪费的同时可有效促进梅花鹿养殖业健康发展。本试验条件下，蛋白质水平为 14%的低蛋白质饲粮中苏氨酸最适水平为 0.59%。

参考文献：

[1] BRODERICK G A.Effects of varying dietary protein and energy levels on the production of lactating dairy cows[J].Journal of Dairy Science,2003,86(4):1370–1381.

[2] BLOME R M,DRACKLEY J K,MCKEITH F K,et al.Growth nutrient utilization and body

composition of dairy calves fed milk replacers containing different amounts of protein[J].Journal of Animal Science,2003,81(6):1641–1655.

[3] LEE C,HRISTOV A N,HEYLER K S,et al.Effects of dietary protein concentration on and coconut oil supplementation on nitrogen utilization and production in dairy cows[J].Journal of Dairy Science,2011,94(11):5544–5557.

[4] 云强,刁其玉,屠焰,等.日粮中赖氨酸和蛋氨酸比对断奶犊牛生长性能和消化代谢的影响[J].中国农业科学,2011,44(1):133–142.

[5] WHELAN S J,MULLIGAN F J,FLYNN B,et al.Effect of forage source and a supplementary methionine hydroxyl analog on nitrogen balance in lactating dairy cows offered a low crude protein diet[J].Journal of Dairy Science,2011,94(10):5080–5089.

[6] 黄健,张铁涛,鲍坤,等.低蛋白质日粮补充赖氨酸、蛋氨酸对离乳期梅花鹿氮代谢的影响[J].草业学报,2014,23(5):287–294.

[7] 张丽英.饲料分析及质量分析检测技术[M].北京:中国农业大学出版社,2002.

[8] 王钰明,赵峰,陈寿飞,等.猪生长阶段与饲粮类型对酸不溶灰分法测定养分消化率的影响[J].动物营养学报,2015,27(3):811–819.

[9] 莫放.养牛生产学[M].2 版.北京:中国农业大学出版社,2010:175–177.

[10] YAMAZAKI M,OKA Y,MURAKAMI H,et al.Available threonine requirement of broiler Chickens at two growing stages[J].Japanese Poultry Science,1997,34(1):45–51.

[11] LI D F,XIAO C T,QIOA S Y,et al.Effects of dietary threonine on performance,plasma parameters and immune function of growing pigs[J].Animal Feed Science and Technology,1999,78(3/4):179–188.

[12] 王文君,张维军.日粮中苏氨酸水平对猪生产性能的影响[J].中国饲料,1998(8):8–10.

[13] SCHEIDELER J P.Restricted feeding programs for broilers[J].Carolina Poultry Nutrition

Conference,1989,6(7):24–34.

[14] SKLAN D,PLAVNIK I.Interactions between dietary crude protein and essential amino acid intake on performance in broilers[J].British Poultry Science,2002,43(3):442–449.

[15] 刘卫东,王章存.低蛋白日粮中添加苏氨酸对仔猪生产性能的影响[J].黑龙江畜牧兽医,2006(10):39–40.

[16] 张常明，冯定远,刘玉兰,等.在低蛋白日粮中添加赖氨酸和苏氨酸对仔猪生产性能的影响[J].粮食与饲料工业，1999(11):42–43.

[17] 封伟贤.高温条件下肉鸡日粮中添加苏氨酸对生长性能和胴体品质的影响[J].广西畜牧兽医,1999,15(1):38–39.

[18] 张纯,周梅卿,张红,等.低蛋白质肉鸡日粮添加苏氨酸的效果[J].中国饲料,1999(4):33–34.

[19] ÇIFICI I,CEYLAN N.Effects of dietary threonine and crude protein on growth performance carcase and meat composition of broiler chickens[J].British Poultry Science,2004,45(2):280–289.

[20] 张卫兵,刁其玉,张乃锋,等.日粮蛋白能量比对 8－10 月龄后备奶牛生长性能和养分消化的影响[J].中国农业科学,2010,43(12):2541–2547.

[21] 楼灿,姜成钢,马涛,等.饲养水平对肉用绵羊妊娠期消化代谢的影响[J].动物营养学报,2014,26(1):134–143.

[22] HILL T M,BATEMAN H G,ALDRICH J M,et al.Optimal concentrations of lysine,methionine,and threonine in milk replacers for calves less than five weeks of age[J].Journal of Dairy Science,2008,91(6):2433–2442.

[23] 王建红,刁其玉,许先查,等.不同生理阶段犊牛赖、蛋、苏氨酸平衡模式研究[J].饲料工业,2010,31(19):39–42.

[24] ROBBINS K R.Threonine requirement of the broiler chick as affected by protein level and

source[J].Poultry Science,1987,66(9):1531–1534.

[25] 于丽伟.断乳仔鹿的蛋白质维持需要及对蛋白质和能量利用的研究[D].硕士学位论文.长春:吉林农业大学,2006.

[26] RUSSELL J B,O'CONNOR J D,FOX D G,et al.A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diest: Ⅰ .Ruminal fermentation[J].Journal of Animal Science,1992,70(11):3551–3561.

[27] WANG J H,DIAO Q Y,TU Y,et al.The limiting sequence and proper ratio of lysine,methionine and threonine for calves fed milk replacers containing soy protein[J].Asian-Australasian Journal of Animal Science,2012,25(2):224–233.

[28] BERTOLO R F,CHEN C Z L,LAW G,et al.Threonine requirement of neonatal piglets receiving total parenteral nutrition is considerably lower than that of piglets receiving an identical diet intragastrically[J].The Journal of Nutriton,1998,128(10):1752–1759.

[29] SCHAART M W,SCHIERBEEK H,VAN DER SCHOOR S R D,et al.Threonine utilization is high in the intestine of piglets[J].The Journal of Nutriton,2005,135(4):765–770.

[30] VAN DER SCHOOR,WATTIMENA S R,HUIJMANS D L,et al.The gut takes nearly all:threonine kinetics in infants.Am[J].American Journal of Clinical Nutrition,2007,86(4):1132–1138.

[31] FAURE M,MOËNNOZ D,MONTIGON F,et al.Dietary threonine restriction specifically reduces intestinal mucin synthesis in rats[J].The Journal of Nutriton,2005,135(3):486–491.

[32] HORN N L,DONKIN S S,APPLEGATE T J,et al.Intestinal mucin dynamics:response of broiler chicks and white pekin ducklings to dietary threonine[J].Poultry Science,2009,88(9):1906–1914.

[33] VAN DER SLUIS M,SCHAART M W,DE KONING B A,et al.Threonine metabolism in the

intestine of mice:loss of mucin 2 induces the threonine catabolic pathway[J].Journal of Pediatric Gastroenterology & Nutrition,2009,49(1):99–107.

[34] 杨金钗,杨礼.畜牧业发展中畜禽粪便对环境的影响及处理技术探讨[J].中国畜牧兽医文摘,2015,31(12):13.

[35] 唐茂妍,陈旭东,梁富广,等.生长猪低蛋白质日粮可消化赖氨酸、蛋氨酸+胱氨酸、苏氨酸、色氨酸平衡模式的研究[J].动物营养学报,2008,20(4):397–403.

[36] 周彦文.合浦鹅赖氨酸、蛋氨酸和苏氨酸适宜需要量的研究[D].硕士学位论文.南宁:广西大学,2008.

Effects of Threonine Level in a Low Protein Diet on Growth Performance and Nutrient Apparent Digestibility of Early Weaning Sika Deer[2]

LI Rende　WANG Xiaoxu　ZHANG Tietao　ZHANG Ting　WANG Jing　ZHANG Xuelei　LI Guangyu　WANG Kaiying*

(*State Key Laboratory of Special Economic Animal Molecular Biology, Institute of Special Animal and Plant Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Changchun* 130112, *China*）

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of threonine (Thr) level in a low protein diet on growth performance and nutrient apparent digestibility of early weaning sika deer. Twenty-four healthy 3-month-old male sika deer were randomly divided into 4 groups with 6 deer per group. Infant deer restricted feeding 4 different diets and lysine (Lys) and methionine (Met) levels in all diets were 0.87% and 0.28%, respectively. Infant deer in high protein diet control group (group Ⅰ) were fed a high protein diet with 16% protein level, and infant deer in low protein diet test groups were fed a low protein diet with 14% protein level and different levels of Thr. The Thr level in 4 diets

*Corresponding author, associate professor, E-mail: tcswky@126.com　　（责任编辑　菅景颖）

was 0.54% (group Ⅰ), 0.46% (group Ⅱ), 0.59% (group Ⅲ), 0.72% (group Ⅳ). The pretrial period was 15 days, and the formal period was 30 days. The results showed as follows: 1） the average daily gain（ADG）of high protein diet control group was extremely significantly higher than that of group Ⅱ ($P<0.01$), and had no significant difference compared with groups Ⅲ and Ⅳ ($P>0.05$). The feed/gain (F/G) of high protein diet control group was extremely significantly higher than that of groups Ⅲ and Ⅳ ($P<0.01$), which was extremely significantly lower than that of group Ⅱ ($P<0.01$). 2） The apparent digestibility of crude protein of high protein diet control group was extremely significantly lower than that of groups Ⅲ and Ⅳ ($P<0.01$), which was extremely significantly higher than that of group Ⅱ ($P<0.01$). The apparent digestibility of energy of high protein diet control group was extremely significantly lower than that of groups Ⅲ and Ⅳ ($P<0.01$), which had no significant difference compared with group Ⅱ ($P>0.05$). The apparent digestibility of calcium of group Ⅲ was significantly higher than that of group Ⅱ ($P<0.01$), which had no significant difference compared with other groups ($P>0.05$). 3） The apparent digestibility of histidine (His), aspartic acid (Asp), glutamic acid (Glu), glycine (Gly) and cysteine (Cys) of high protein diet control group was significantly higher than that of group Ⅱ ($P<0.05$), and the apparent digestibility of other amino acids in group Ⅱ had no significant difference ($P>0.05$). The apparent digestibility of Lys, Met, Thr, arginine（Arg）, alanine（Ala） and tyrosine（Tyr） of high protein diet control group was extremely significantly lower than that of group Ⅲ ($P<0.01$), and the apparent digestibility of valine (Val), leucine（Leu）, phenylalanine（Phe） and serine（Ser） was significantly lower than that of group Ⅲ ($P<0.05$). The apparent digestibility of Ala of high protein diet control group was extremely significantly lower than that of group Ⅳ ($P<0.01$) and the apparent digestibility of Lys, Thr, Val and Ala was significantly higher than that of group Ⅳ ($P<0.05$), but it was no significant difference in the apparent digestibility of other amino acids

($P>0.05$). It can be seen that the appropriate threonine level in the diet can promote the growth and nutrient digestion and utilization of early weaning sika deer. Under the same dietary Lys and Met levels, the growth performance and nutrient apparent digestibility of sika deer fed 0.59% Thr diet with protein level of 14% can better than those fed diet with protein level of 16%.

Key words: sika deer; threonine; growth performance; low protein diet